# T.P. N° 3

## ACTION D'UN JET SUR UN OBSTACLE

## VÉRIFICATION DU THÉORÈME DE QUANTITÉ DE MOUVEMENT EN RÉGIME PERMANENT

Le but de la manipulation est de mesurer la force produite par un jet de fluide dévié par un obstacle et de comparer cette force à la variation de quantité de mouvement du fluide pour un écoulement supposé permanent et établi.

### I. RAPPELS THÉORIQUES

#### 1.1. Théorème des quantités de mouvement

En régime permanent, pour un fluide parfait, le système des débits de quantité de mouvement sortant d'une surface fermée S est égal à la résultante des forces appliquées au fluide contenu dans S:

$$\sum \vec{F} = \iint_S \rho \vec{V}(\vec{V}.\vec{n})ds$$

#### 1.2. Action d'un jet sur un auget

#### 1.2.1 Disque plan

On considère un auget symétrique par rapport à un axe x ayant la forme d'un disque. Un jet de vitesse V1 et de direction parallèle à l'axe des x (fig. 1a) percute l'auget qui le dévie d'un angle de 90°. Le fluide quitte l'auget à une vitesse V2.

L'auget est soumis à l'action du fluide et à la force de pression sur sa face extérieure.

$$\vec{F} = \vec{F}_f - \iint_{S_a} P_a \vec{n}.ds \qquad \vec{n} \text{ normale à la surface dirigée vers l'extérieur}$$

On applique le théorème des quantités de mouvement à un volume de fluide limité par les surfaces S1, SL, S2 et Sa.

Les forces agissant sur le volume de fluide sont :
- son poids (considéré négligeable),
- les forces de pression exercées sur toutes les surfaces,
- l'action de la plaque sur le jet.

$$\iint_S \rho \vec{V}(\vec{V}\vec{n})ds = \iint_{S_1} \rho \vec{V}_1(\vec{V}_1\vec{n})ds + \iint_{S_2} \rho \vec{V}_2(\vec{V}_2\vec{n})ds + \iint_{S_L} \rho \vec{V}(\vec{V}\vec{n})ds$$

Sur la surface latérale du jet, on a : $\vec{V}.\vec{n} = 0$



Scanned with CamScanner

Par symétrie de révolution, l'intégrale sur S2 est nulle.

$$\iint_S \rho \vec{V}(\vec{V}\vec{n})ds = -\rho V_1^2 S_1 \vec{n}_1 = -\vec{F}_f - \iint_S P_a \vec{n}.ds$$

D'où :

$$\vec{F} = \rho V_1^2 S_1 \vec{n}_1 - \iint_{S+S_a} P_a \vec{n}.ds$$

L'intégrale des forces de pression sur une surface fermée est nulle.

Donc :

$$\vec{F} = \rho V_1^2 S_1 \vec{n}_1$$

**1.2.2 Hémisphère**

La vitesse de sortie du jet est égale $-\vec{V}_1$ à (voir fig.1b)

D'où :

$$\vec{F} = 2\rho V_1^2 S_1 \vec{n}_1$$

**1.2.3 Influence des forces de pesanteur**

*** Disque**

On suppose en première approximation que le volume d'eau se réduit à deux cylindres (fig.1c) dont le volume total est :

$$\Omega = \frac{\pi D^2}{4} e + S_1 h$$

La vitesse V2 est obtenue en appliquant la relation de Bernoulli : $V_2^2 = V_1^2 - 2g.h$

Or

$$Q_m = \rho S_1 V_1 = \rho S_2 V_2$$

D'où :

$$S_2 = \pi D.e = \frac{S_1 V_1}{V_2}$$

On en déduit l'épaisseur *e*, le volume $\Omega$ puis le *poids* de ce volume.

*** Hémisphère**

En première approximation le volume se réduit à deux éléments (fig. 1d) :

$$\Omega = 2\,\pi R^2.e + S_1 R$$

Comme,

$$V_2 = V_1$$

Il s'en suit alors :

$$S_2 = S_1 = 2\,\pi R.e$$



Scanned with CamScanner

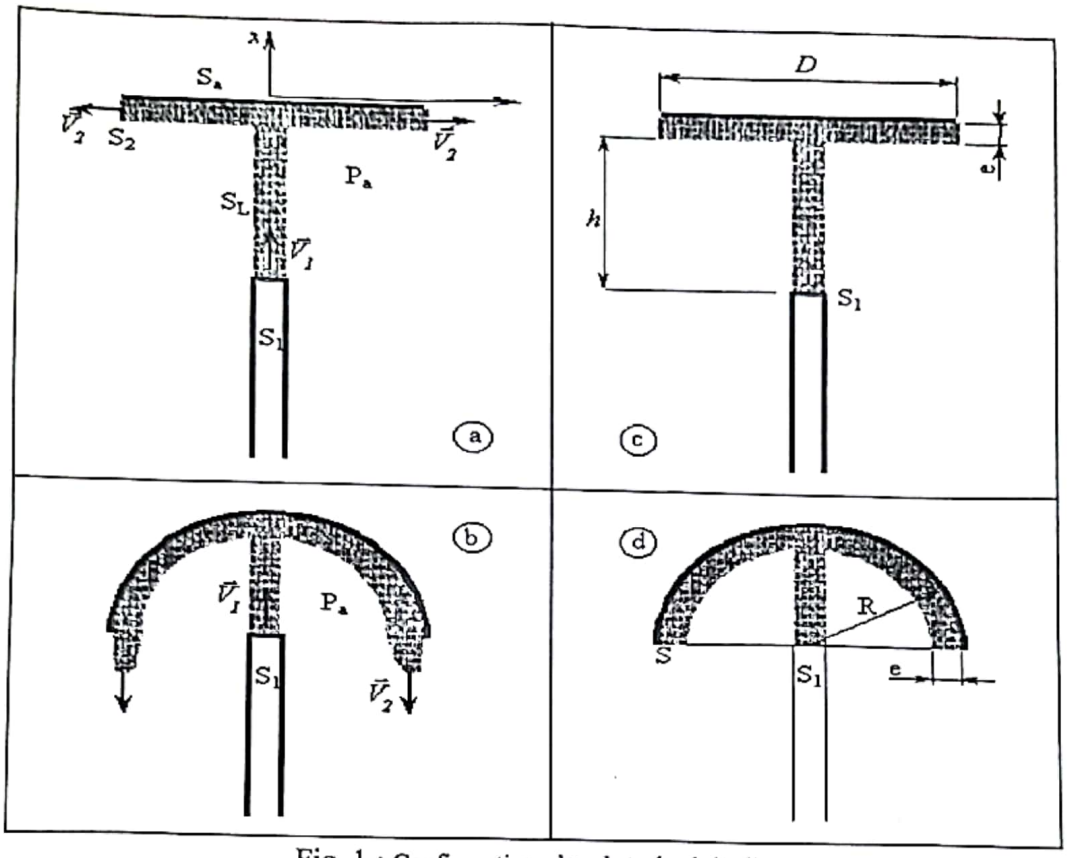


Fig. 1 : Configurations des obstacles à étudier

## II. DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

### 2.1. Appareil d'étude de l'impact d'un jet

L'appareil est schématisé sur la figure 2 ci-dessous. Il est constitué d'un gicleur, tuyère verticale, qui dirige un jet sur un obstacle. Ce jet est envoyé sur un auget en forme de disque ou d'hémisphère. La tuyère et l'auget sont dans un cylindre transparent. La tuyère est reliée au banc hydraulique. La base du cylindre est équipée d'une conduite de retour débitant dans le réservoir de mesure de débit du banc hydraulique.

L'auget est monté sur un levier articulé sur lequel peut se déplacer une masse mobile. Ce levier est maintenu en position zéro, en plaçant la masse mobile devant la graduation zéro de la règle graduée, pour ensuite rechercher la position horizontale en manœuvrant l'écrou moleté du ressort. La position horizontale du levier est indiquée par le repérage du levier.

- La force d'impact d'un jet se mesure en déplaçant la masse mobile sur le levier jusqu'à ce que le levier revienne à sa position initiale indiquée par le repérage.

- Le débit de fluide est réglé en amont de l'appareil par une vanne.



Scanned with CamScanner

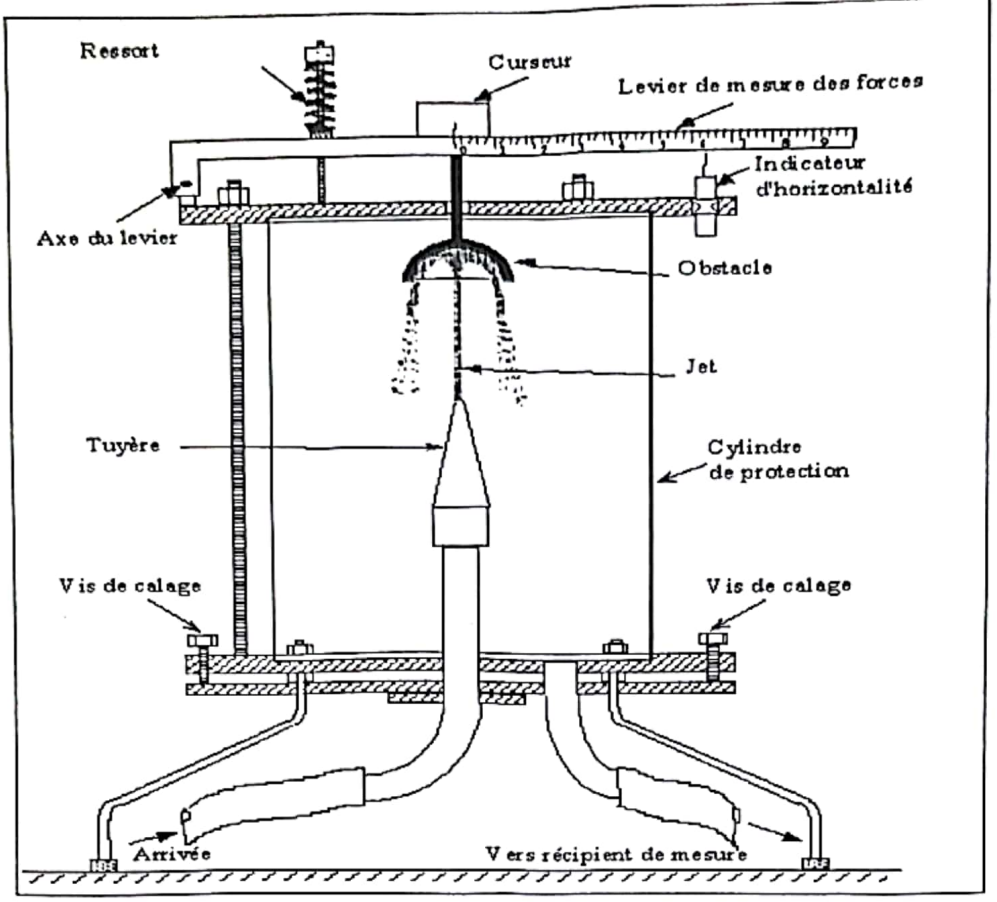


**Fig. 2 :** Montage expérimental

## 2.2. Banc hydraulique -mesure du débit

Le banc hydraulique est schématisé sur la figure 3. La pompe centrifuge P, déposée au fond du grand bac et plongée dans l'eau, refoule l'eau dans la conduite C, équipée d'une vanne de réglage V. L'eau provenant du montage se déverse dans un petit réservoir destiné à mesurer le débit.

Ce petit réservoir de mesure de débit est fixé à l'intérieur du grand bac, et possède au niveau de sa base un orifice conique dans lequel peut coulisser un système de vanne permettant de maintenir ou d'évacuer l'eau vers le grand bac.

### Mesure du débit

Avant de commencer les mesures du débit d'eau, on vidange tout d'abord le petit réservoir en tirant la tige par le poignet E vers le haut. Le niveau du liquide dans ce petit réservoir étant visible grâce à un tube vertical en Plexiglas, de faible diamètre et gradué en litres, qui se situe à l'extérieur du coté latéral du grand bac. Pour mesurer le débit, on vidange tout d'abord le petit réservoir en maintenant appuyée la tige grâce au poignet E (poussé vers le bas), ensuite on relâche ce dernier pour fermer l'orifice sur la base de ce petit réservoir, et le niveau d'eau dans ce dernier commence à remonter. Comme le tube est gradué en litres, il suffit de connaître le temps mis par l'eau pour atteindre le niveau désiré ; et le débit volumique sera le rapport entre le volume obtenu pour le temps chronométré. Mais, avant de refaire une autre mesure de débit, il est nécessaire de vidanger le petit réservoir. Pour obtenir une valeur précise du débit, il est conseillé d'avoir des temps de l'ordre d'une minute.



Scanned with CamScanner

## III. MANIPULATION

On effectue la mise à zéro du levier, comme indiqué précédemment dans la figure 2. On met la pompe en route et on règle la vanne d'alimentation du banc hydraulique pour obtenir le débit maximum. Pour ce débit on relève la position correspondante de la masse mobile sur le levier. On réduit ensuite le débit pour obtenir cinq points de mesure régulièrement espacés.

On mesure le débit Qm selon la méthode décrite précédemment.
La manipulation s'effectue sur les deux obstacles suivants :
- le disque plat,
- l'hémisphère.

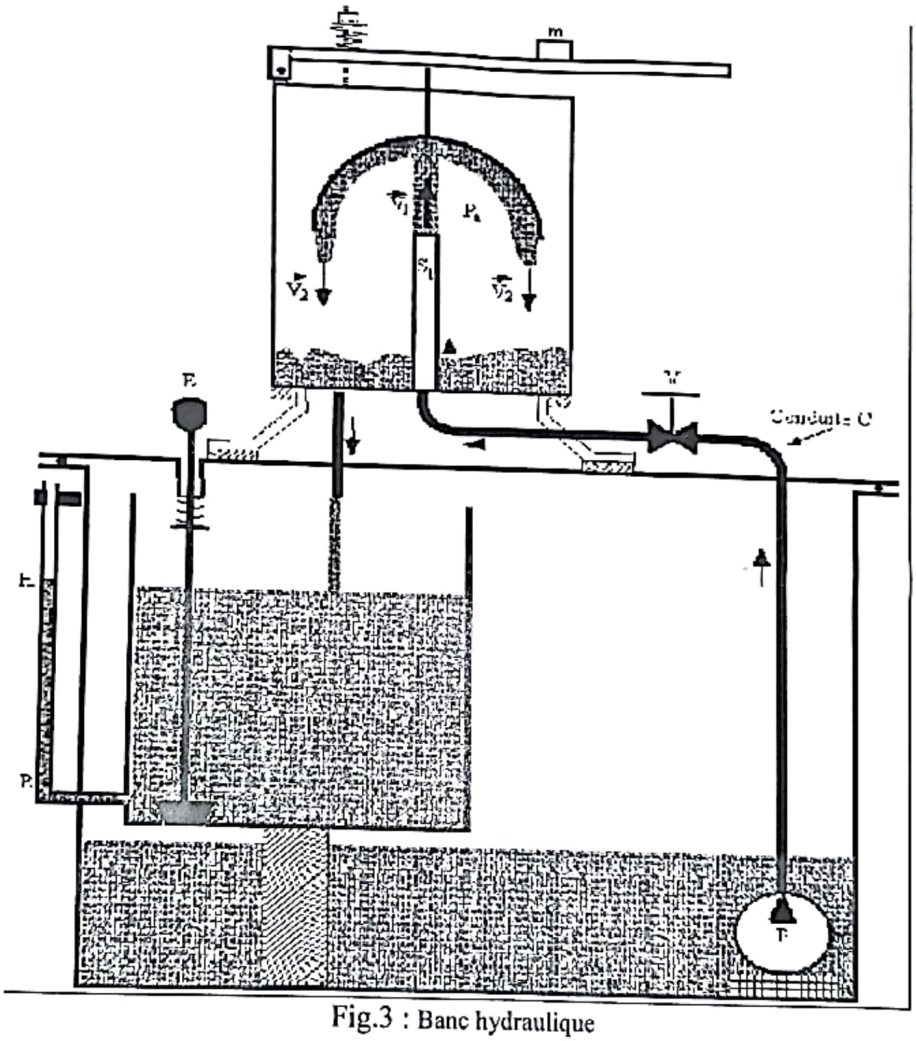


Fig.3 : Banc hydraulique



Scanned with CamScanner

## IV. CALCULS

### 4.1. Calcul de la force

Les forces exercées sur le levier sont représentées sur la figure 4 ci-après :

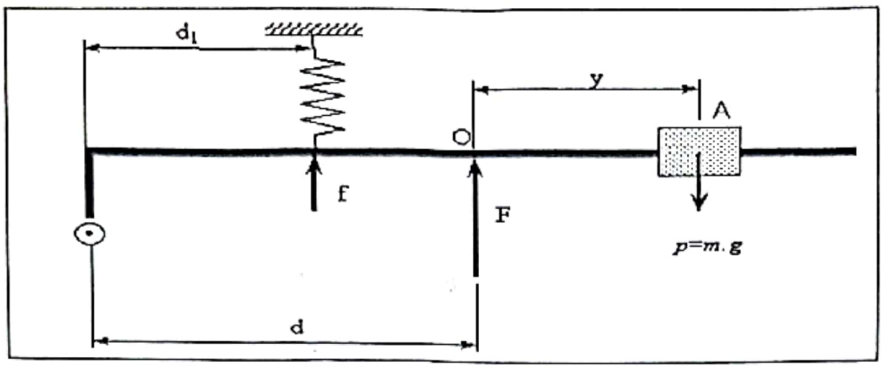


Fig. 4 : Forces exercées sur le levier

Au repos, $p$ se situe en O ; c'est à dire : $-f.d_1+p.d=0$

Au cours d'une mesure, la position de la masse de poids $p$ va se situer en A. Donc :

$$-f.d_1-F.d+(d+y)p=0$$

En comparant les deux relations on obtient : $F=\frac{y}{d}.m.g$

On lit la valeur de $y$ sur l'échelle graduée, $m$ et $d$ sont donnés. On en déduit $F$.

### 4.2. Calcul de l'action du jet

- En appliquant les résultats du calcul des quantités de mouvement déterminé $F_{th}$ :
  - d'abord sans tenir compte des forces de pesanteur,
  - puis en en tenant compte (volume d'eau $\mathcal{V}$ au dessous de l'obstacle).

  On portera sur un graphique les valeurs de la force du jet $F$ résultant des mesures en fonction des valeurs de $F_{th}$ calculées grâce au théorème de la quantité de mouvement.
- Évaluer les incertitudes sur les forces mesurées $F$.

***Données Numériques (géométrie de la veine d'essai) :***

- *diamètre de la tuyère : 10 mm*
- *diamètre du disque : 74 mm*
- *diamètre de l'hémisphère : 60 mm*
- *masse de la masse mobile : m = 600 g*
- *distance du centre des augets à l'articulation : d = 0,1525 m*
- *distance entre la sortie de la tuyère et l'auget : h = 37 mm*

### 4.3 PROTOCOLE D'ESSAIS

1) Placer l'obstacle à étudier (**plaque plane**) dans le cylindre transparent et le fixer au bras de levier.
   ***N.B.*** **:** ne pas oublier la rondelle annulaire qui assure l'étanchéité du haut du cylindre !
2) Réglage du bras de levier :



Scanned with CamScanner

Avant le démarrage de la pompe, placer la masse au zéro de la règle. Ramener le bras à l'horizontale : le bras est horizontal lorsque les deux encoches du cylindre de repérage se situent de part et d'autre de la plaque supérieure du dispositif.

3) Réglage du jet :
Démarrer la pompe. Assurer le centrage du jet sur la plaque au moyen des vis de réglage en partie basse du dispositif.

4) Mesure :
Une fois le jet centré, arrêter la pompe ; vider le bac de mesure du débit dans la cuve d'alimentation. Redémarrer la pompe et déclencher le chronomètre lorsque le ménisque dans le tube transparent passe devant la ligne de référence noire correspondant à l'étiquette « 0 LITRES » (*Cf.* Fig. 2).
Régler la position de la masse sur la règle graduée de manière à ramener le bras de levier à l'horizontale et noter la position de la masse sur la règle. Arrêter le chronomètre lorsque le ménisque repasse devant l'une des étiquettes sur la ligne de référence. Arrêter la pompe et vidanger le bac en vue de la mesure suivante.
Les résultats d'essai « **plaque plane** » sont reportés dans le *Tableaux ci-dessous.*

| t(s) | distance (mm) | débit ($L.s^{-1}$) |
|---|---|---|
| 24 | 75 | 0,5 |
| 25 | 65 | 0,48 |
| 27 | 55 | 0,44 |
| 31 | 45 | 0,39 |
| 34 | 35 | 0,35 |
| 41 | 25 | 0,29 |
| 47 | 15 | 0,26 |
| 74 | 5 | 0,16 |
| 62 | 0 | 0,08 |

## *5. Partie numérique « Excel »*

1. Remplir le *Tableau ci-dessous*

| | Mesure du débit | | | | | | Force exercée | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Volume | erreur | temps | erreur | Débit | erreur | position masse coulissante | erreur | Force théorique | erreur | Force mesurée |
| | V | ΔV | t | Δt | Q | ΔQ | Y | ΔY | $F_m$ | $\Delta F_m$ | F |
| unités | | l | | s | | | | mm | | | |
| | | 2E–4 | | 1 | | | | 1 | | | |

2. Comparer les mesures obtenues à la loi théorique.
3. Tracer les courbes $F_{th} = f(Q)$ et $F = f(Q)$ sur une même figure.
4. Commenter.

$$S = \frac{\pi \cdot (10 \times 10^{-3})^2}{4} = (10^{-2})^2 = 10^{-4}$$



Scanned with CamScanner